

***Е. В. Ласточкина<sup>\*</sup>, Г. Ю. Калинин, В. Б. Грибанова***

Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И. В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Санкт-Петербург

<sup>\*</sup>*npk3@crism.ru*

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА ОПЫТНОГО КУЗНЕЧНОГО СЛИТКА ИЗ АУСТЕНИТНОЙ АЗОТСОДЕРЖАЩЕЙ СТАЛИ Cr–Ni–Mn КОМПОЗИЦИИ ЛЕГИРОВАНИЯ

В работе представлены результаты исследования кузнечного слитка массой 4,65 т из высокопрочной маломагнитной азотсодержащей стали марки 04X20H6Г11M2АФБ.

Определено влияние плотности литого металла на структуру и свойства стали, количество и состав неметаллических включений, оценена степень ликвации элементов в металле слитка. Измерена магнитная проницаемость, и проведён анализ механических свойств.

*Ключевые слова:* азотсодержащая сталь, кузнечный слиток, химическая и структурная неоднородность, ликвация, аустенитная структура, карбонитриды.

***E. V. Lastochkina, G. Yu. Kalinin, V. B. Gribanova***

## COMPREHENSIVE STUDY OF METAL OF PILOT FORGE INGOT MADE OF AUSTENITIC NITROGEN-CONTAINING Cr–Ni–Mn ALLOYING STEEL

The paper presents the examination results of 4,65 t forging ingot made of high-strength non-magnetic nitrogen-bearing 04Kh20N6G11M2AFB (04X20H6Г11M2АФБ) steel.

The influence of cast metal density on structure and properties of steel as well as the quantity and the composition of non-metallic inclusions were determined. A liquation degree of elements in an ingot metal was also evaluated. A magnetic permeability was measured and the analysis of mechanical properties was performed.

*Keywords:* nitrogen-bearing steel, forging ingot, chemical and structural heterogeneity, segregation, austenitic structure, carbonitrides.

Производство литых заготовок разных массы и размеров – несомненное преимущество перед другими способами производства (ковкой, штамповкой), но при этом качество получаемых отливок должно гарантировать безаварийную работу детали весь срок эксплуатации.

Служебные характеристики изделий в значительной степени связаны с качеством металла слитков, затвердевание которых сопровождается развитием структурной и химической неоднородностей, выражающихся, в основном, в наличии области ликвации, а также в повышенном содержании ликватов в верхней части осевой зоны [1–2], поэтому актуальной задачей является комплексное исследование металла слитка после кристаллизации.

Примечательной особенностью является интенсивное развитие металлургии азотсодержащих сталей. Их применение для многих отраслей промышленности обусловлено уникальным сочетанием свойств [3–7].

В рамках данной работы специалистами ФГУП ЦНИИ «КМ «Прометей» совместно с ООО «ОМЗ-Спецсталь» был изготовлен опытный кузнечный слиток массой 4,65 т, отлитый методом сифонной разливки из стали марки 04X20H6Г11М2АФБ.

Из исследуемого слитка был изготовлен продольный осевой темплет для последующей визуальной оценки макроструктуры металла. Общий качественный анализ однородности литой структуры слитка показал наличие характерных структурных зон: поверхностная (корковая), зона столбчатых кристаллов и зона различно ориентированных кристаллов.

Проведен анализ магнитной проницаемости ( $\mu$ ) на трёх горизонтах (подприбыльная, средняя и донная часть) продольного осевого темплета слитка. Были получены значения  $\mu \leq 1,01$ , что указывает на формирование чисто аустенитной структуры. По результатам металлографического и рентгеноспектрального анализа в структуре обнаружены карбонитриды ниобия (NbCN).

Совместно со специалистами ООО «ТК «ОМЗ-Ижора» НИЦ в различных зонах слитка определена степень ликвации химических элементов в литом металле.

При комплексном исследовании слитка из высокопрочной аустенитной азотсодержащей стали было обнаружено, что наиболее дефектная зона со значительным преобладанием факторов (неметаллические включения, усадочная пористость), способных негативно сказываться на качестве металла, расположена в осевой части слитка. Полученные результаты предполагают корректировку процесса изготовления слитка, обеспечивающую получение качественных полуфабрикатов с минимальным развитием ликвационной неоднородности и контролируемым расположением усадочных дефектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руцкий Д. В. Ликвация в крупных кованных изделиях / Д. В. Руцкий, С. И. Жульев, К. Е. Титов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2008. № 2. С. 21–26.

2. Посламовская Ю. А. Особенности формирования нижней части крупных кузнечных слитков Cr–Ni–Mo сталей / Ю. А. Посламовская, С. И. Жульев // *Металлург*. 2008. № 4. С.67–70.
3. Высокопрочные аустенитные стали / М. В. Приданцев [и др.]. Москва : *Металлургия*, 1969. 248 с.
4. К вопросу о перспективах широкого внедрения аустенитных сталей, легированных азотом / Г. Ю. Калинин [и др.] // *Морской вестник*. 2010. № 4 (36). С. 82–83.
5. Создание перспективных принципиально новых коррозионно-стойких корпусных сталей, легированных азотом / И. В. Горынин [и др.] // *Вопросы материаловедения*. 2005. № 2 (42). С. 40–54.
6. Высокопрочные аустенитные свариваемые стали для судостроения / В. А. Малышевский [и др.] // *Вопросы материаловедения*. 2014. № 2 (78). С. 26–35.
7. Малышевский В. А. Современные маломагнитные стали для судостроения / В. А. Малышевский, Г. Ю. Калинин, А. А. Харьков // *Судостроение*. 2011. № 1 (65). С. 17–27.